

製紙汚泥焼却灰を使用したトンネル充てん材のポンプ圧送性の検討

清水建設技術研究所 正会員 ○浦野 真次

清水建設技術研究所 正会員 浅田 素之

清水建設名古屋支店 正会員 堤 博泰

1. 目的

古紙のリサイクルに伴い製紙汚泥（Paper Sludge; PS）が大量に発生するため、脱水、焼却してこれを減容化し、PS 灰として処理されている。これまで、PS 灰の有効利用のため、砕石粘土と混合し、セメントを固化材として製造する充てん材が提案されている¹⁾。PS 灰を使用した充てん材の適用の一つとして、ガス導管などのトンネル埋設管理め戻し材とすることが考えられる。トンネルでの施工は、一般のグラウト・モルタル用ポンプを使用する方法の他に、施工条件の制約からトンネル延長が長く中継ポンプを設置できない場合には、コンクリートポンプで長距離圧送を行う方法となる。したがって、PS 灰を使用した充てん材の適用拡大のためには、ポンプ圧送性について把握する必要がある。本報では、PS 灰を使用した充てん材のポンプ圧送性を把握するため、長距離圧送実験を行い、圧力損失や充てん材の品質変化に関する検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

トンネル埋設管理め戻し材としての充てん材の目標性能は、流動化処理土利用マニュアルに準拠し、一軸圧縮強さ;0.5MPa 程度(28 日)、ブリーディング率;3%以下、フロー値;160mm 以上(シリンダ法)とした。圧送距離 1500m、圧送量 150m³/日を施工の目標値として検討を行った。

実験に適用した充てん材の使用材料を表 - 1 に、配合を表 - 2 に示す。ここで、3B-BB の PS 灰の混入されていない配合は、エアモルタルなどで実績のある配合であり通常 50%程度のエアを混入することを前提とした配合である。ここでは、エア 50%混入の配合ではなくエアを除いて 1 m³となるよう算出した値である。

ポンプ圧送実験は、充てん材を 1 バッチ 0.5 m³で圧送に必要な量を製造後、コンクリートポンプによる圧送を行い、圧送中の圧力をポンプ主油圧を含め 6 箇所測定するとともに、圧送前後の充てん材の品質を測定した。

なお、配合の中で、PS 灰を混入しない 3B-BB の配合はエアを混入しない状態で圧送を行った。

使用したポンプは、最大吐出圧力 6.13MPa、最大吐出量 35 m³/h の能力を有するピストン式コンクリートポンプである。配管は、3B (75A) 管あるいは 4B (100A) 管を用いて、計 400.74m 配管した。長距離圧送とするため、1 周 400mの配管筒先のフレキシブルホースをポンプホッパーに戻して再圧送し、圧送距離総計を 4B 管の場合 800m (2 周)、3B 管の場合 2000m (5 周) 圧送した。目標圧送速度を 20 m³/h 程度とし圧送したが、3B 管の場合は 5 周のうち最後 2 周は目標圧送速度を 15 m³/h 程度として圧送圧の計測を行った。

試験項目は、圧送前後の充てん材の流動性の変化を検討するため、シリンダによるフロー試験（日本道路公団規準「エアモルタル及びエアミルクの試験法」(JSH A 313)）および P 漏斗試験（JSCE-F521-1999）を実施した。試験は、1 バッチ製造直後、圧送開始前、800m (4B)、1200m (3B)、2000m (3B) 圧送時に実施した。

3. 実験結果および考察

充てん材の品質変化について、フロー値、P 漏斗流下時間と、充てん材製造開始からの経過時間の関係をそれぞれキーワード 製紙汚泥焼却灰、充てん材、ポンプ圧送、圧力損失、品質変化

連絡先 〒135-8530 江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL:03-3820-5514/FAX:03-3820-5959

表—1 使用材料

材料	記号	仕 様
セメント	BB	高炉セメント B 種: 密度:3.04g/cm ³ , 比表面積: 3890cm ² /g
粘土	C	密度:2.63g/cm ³ , 粘土分:93%
PS 灰	PS	密度:2.51g/cm ³ , Ig.Loss:1.7%, 2000-75μm:30%, 75-5μm:70%
水	W	河川水

表 - 2 配合および実験ケース

実験ケース名	配合名	単位量 (kg/m ³)				圧送方法	
		BB	C	PS	W	配管	圧送距離
4B-BB-PS	BB-PS	150	350	300	675	4B(100A)	800m
3B-BB-PS	BB-PS	150	350	300	675	3B(75A)	2000m
3B-BB	BB	250	465	-	673	3B(75A)	2000m

れ図 - 1, 2 に示す。3B 管で圧送する場合, PS 灰を混入した 3B-BB-PS は, 無混入の 3B-BB と比較して圧送による流動性の低下が小さくなった。3B-BB は P 漏斗流下時間も大きくなり, 3B 管で短時間に圧送しても品質変化が大きくなる可能性がある。4B 管で圧送した 4B-BB-PS の場合は, 配管

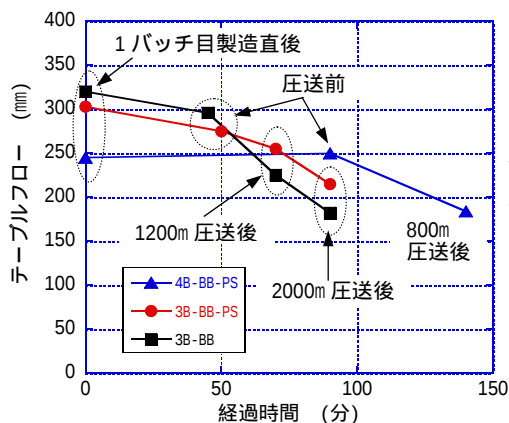


図 - 1 フロー値の経時変化

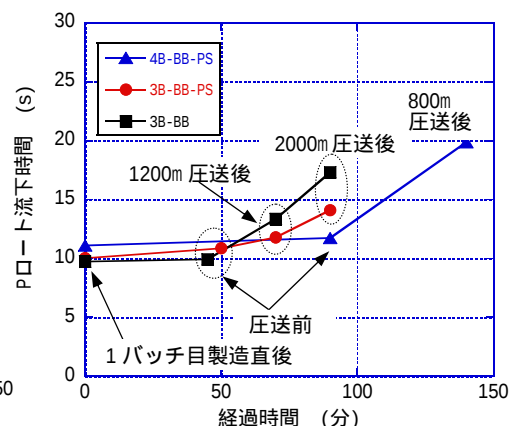


図 - 2 P 漏斗流下時間の経時変化

内の充てん材総量約 3.2m^3 製造しなければならないため製造開始から圧送開始までの経過時間が大きくなった上に, 圧送距離が短くても圧送に時間を要し, 合計の経過時間が大きくなった。このため圧送距離が 800m と短くなるにもかかわらず圧送後の流動性の低下が比較的大きくなった。したがって, PS 灰を混入した充てん材は, 長距離を管径の小さい 3B 管でポンプ圧送すれば短時間で圧送でき, 流動性の低下も少なくなることが示された。

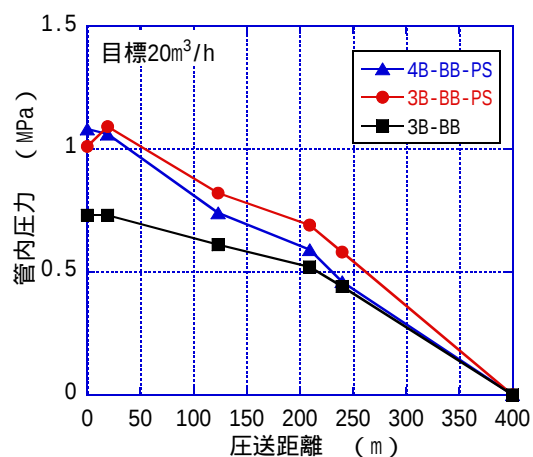
圧送速度等に関連する測定結果について表 - 3 に示す。実際の圧送速度は, 1 週の所要時間から算出した。実際の吐出量と, 吐出効率 100% としてストローク数から算出した吐出量を比較することにより求めた吐出効率は, 61 ~ 66% となった。

表 - 3 圧送速度の算定

実験ケース	目標圧送速度 (m^3/h)	1 週の所要時間	1 周時間からの算出吐出量 (m^3/h)	1 分間のストローク数 (回)	ストローク数からの算出吐出量 (m^3/h)	吐出効率 (%)
4B-BB-PS	20	11 分	17.1	29	27.97	61.1
3B-BB-PS	20	5 分 45 秒	18.5	29	27.97	66.1
	15	6 分 45 秒	15.7	25	24.12	65.1
3B-BB	20	5 分 45 秒	18.5	29	27.97	66.1
	15	6 分 45 秒	15.7	25	24.12	65.1

各実験ケースの圧送時の圧送圧力のピーク値と, 圧送距離の関係をそれぞれ図 - 3 に示す。4B 管の場合, 最大で 1.1MPa 程度の

圧送圧力となった。4B 管の平均の管内圧力損失としては $0.27 \times 10^{-2}\text{MPa}/\text{m}$ となった。BB-PS 配合の 3B 管の場合についても, 圧送圧力の最大値は 1.1MPa 程度であり, 平均の管内圧力損失としては, $0.29 \times 10^{-2}\text{MPa}/\text{m}$ となり 4B 管よりも若干上昇するものの, 圧力損失の大きな差は認められなかった。3B-BB の実験ケースの場合には圧送による流動性の低下が大きかったにも関わらず, 圧送圧力は 3 ケースの中で最も小さくなっており, 平均の管内圧力損失も $0.18 \times 10^{-2}\text{MPa}/\text{m}$ と小さくなった。以上のことから, 使用材料や配合, 圧送時の充てん材の流動性状が関係しているものと考えられ, PS 灰混入配合で製造から時間が経過して流動性が低下した場合には, 管内圧力損失が大きくなる可能性があることが明らかとなった。

図 - 3 管内圧力分布 (目標 $20\text{m}^3/\text{h}$)

以上より, PS 灰を使用した充てん材は, 3B 管を使用したコンクリートポンプ圧送を行うことにより, 目標値とした圧送距離 1500m, 圧送量 $150\text{m}^3/\text{日}$ の施工を可能とすることができるものと考えられる。

4. まとめ

本検討により, PS 灰を有効使用した充てん材のコンクリートポンプ圧送性について把握することができた。得られた結果について, 今後の実施工における施工計画立案および施工管理に反映する予定である。

参考文献

- 堀内澄夫, 浅田素之, 川口正人, 堤博泰, 福江正治: 製紙スラッジ焼却灰を使用した裏込めスラリー, 第37回地盤工学研究発表会, pp.669 ~ 670, 2002.7